



PATENTCHRIFT 145 348

Wirtschaftspatent

Ertelt gemäß § 5 Absatz 1 des Änderungsgesetzes zum Patentgesetz

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

Int. Cl.³

(11) 145 348

(44) 03.12.80

3(51) H 01 L 21/302
H 01 L 21/26
C 23 C 15/00

(21) WP H 01 L / 214 812

(22) 06.08.79

-
- (71) Akademie der Wissenschaften der DDR, Berlin, DD
- (72) Helmstreit, Wilfried, Dr.rer.nat. Dipl.-Chem.; Bigl, Frieder, Dr.rer.nat. Dipl.-Phys., DD
- (73) siehe (72)
- (74) Akademie der Wissenschaften der DDR, Zentralinstitut für Isotopen- und Strahlenforschung, 7050 Leipzig, Permoserstraße 15

-
- (54) Verfahren zum reaktiven Ionenstrahlätzen von Silizium und Siliziumverbindungen

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum reaktiven Ionenstrahlätzen von Silizium und seinen Verbindungen, wobei Teile der Oberfläche durch Masken abgedeckt sein können. Das Ziel bestand darin, die Ätzzeit zu verringern und die Selektivität gegenüber Masken- und Trägermaterialien zu erhöhen. Das Ätzen erfolgt mit einem Strahl von Ionen oder deren Neutralisationsprodukten, die reaktiv mit dem Silizium bzw. der Siliziumverbindung reagieren. Die Ionen werden aus Fluorkohlenwasserstoffen oder aus ihren Gemischen mit Sauerstoff oder Inertgasen erzeugt. Die Teilchenenergie wird so gewählt, daß die chemische Ätzrate die Sputterrate wesentlich übersteigt. Das Verfahren ist mit anderen Hochvakuumprozessschritten kompatibel.



-1- 214812

Erfinder: Dr. Helmstreit, Wilfried
Dr. Bigl, Frieder

Verfahren zum reaktiven Ionenstrahlätzen von Silizium und Siliziumverbindungen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum reaktiven Ionenstrahlätzen von Silizium und seinen Verbindungen, wobei Teile der vom Strahl getroffenen Oberfläche durch geeignete Masken abgedeckt sein können. Bei dem zu ätzenden Material kann es sich um Kompaktmaterial oder um Schichten auf geeigneten Trägermaterialien handeln. Hauptanwendungsgebiet der Erfindung ist die Halbleiterbauelementetechnik.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Das Ionenstrahlätzen wird sowohl für den großflächigen Abtrag von Schichten aus Silizium oder Siliziumverbindungen (z. B. für Oberflächenreinigungsprozesse) als auch für die Strukturierung solcher Schichten unter Verwendung von Masken mit Strahlen aus Inertgasionen (meistens Argonionen) bzw. Inertgasatomen durchgeführt.

Hauptnachteile des Verfahrens sind die geringen Ätzgeschwindigkeiten für die genannten Materialien und die geringen Selektivitäten in bezug auf Maskenmaterialien und Trägermaterialien. Diese Nachteile bewirken u. a. eine geringe Produktivität der genannten Ätzprozesse und führen zu großen Strukturverbreiterungen bei Strukturierungsprozessen (die insbe-

sondere bei der Herstellung von μ - und Sub- μ -Strukturen unerwünscht sind).

Zur Minderung dieser Nachteile wurde vorgeschlagen (DE-OS 2 258 297), für die Ätzmaske ein Metall (Titan) zu verwenden, das eine geringe Abhängigkeit der Zerstäubungsrate (Sputterrate) von der Einfallrichtung der Ionen hat, so daß durch schrägen Ioneneinschuß eine Selektivitätserhöhung erreicht werden kann. Außerdem wurde vorgeschlagen, durch Zugabe eines reaktiven Gases (Sauerstoff oder CF_4) in die Umgebungsatmosphäre eine Erniedrigung der Zerstäubungsrate (Sputterrate) der Maske und damit ebenfalls eine Erhöhung der Selektivität Silizium/Maske bzw. Siliziumverbindung/Maske zu erreichen. Ein weiterer Vorschlag (DE-OS 2 536 718) sieht zur Herabsetzung von Strukturverbreiterungen die Verwendung einer Maske vor, die aus Schichten unterschiedlichen Materials mit unterschiedlicher Zerstäubungsrate besteht (Metall - organisches Material oder auch Metall - Metall), wobei die Schicht mit der größeren Zerstäubungsrate auf der der Festkörperoberfläche zugekehrten Seite der Maske liegt.

Ein Nachteil der vorgeschlagenen Lösungen ist die Verwendung von Metallen für die Ätzmaske, da ihre Herstellung aufwendiger ist als das Aufbringen organischer Lacke. Die starke Abhängigkeit der Abtraggeschwindigkeit von der Einfallrichtung der Ionen bedingt außerdem aufwendige technische Anlagen zur Einstellung des Einfallswinkels.

Ziel der Erfindung

Das Ziel der Erfindung ist es, beim Ionenstrahlätzen von Silizium und Siliziumverbindungen die Ätzzeit für eine gegebene Schichtdicke wesentlich zu verringern und die Selektivität gegenüber Masken- und Trägermaterialien wesentlich zu erhöhen. Außerdem soll das Verfahren kompatibel mit vorhergehenden bzw. nachfolgenden Hochvakuumprozeßschritten sein.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Aufgabe der Erfindung ist ein Verfahren zum reaktiven Ionenstrahlätzen von Silizium und Siliziumverbindungen, bei dem die Ätzgeschwindigkeit für Silizium bzw. Siliziumverbindungen selektiv stark erhöht ist.

Das erfindungsgemäße Verfahren zum reaktiven Ionenstrahlätzen von Silizium und Siliziumverbindungen ist dadurch charakterisiert, daß das Ätzen mit einem Strahl von Ionen oder deren Neutralisationsprodukten durchgeführt wird, die reaktiv mit dem Silizium, insbesondere Polysilizium, bzw. der Siliziumverbindung reagieren. Bei den Siliziumverbindungen handelt es sich insbesondere um Siliziumdioxid und Siliziumnitrid, die in reiner Form, in Form von Schichtfolgen oder im Gemisch mit anderen Verbindungen z. B. als Passivierungsschichten in der Halbleitertechnik eingesetzt werden.

Die zum reaktiven Ionenstrahlätzen benötigten Ionen werden in einer Ionenquelle aus Fluorkohlenwasserstoffen, insbesondere aus CF_3OF , CF_4 , CF_3H , oder aus Gemischen solcher Kohlenwasserstoffe oder aus ihren Gemischen mit Sauerstoff oder Inertgasen erzeugt, aus der Ionenquelle extrahiert, falls erforderlich neutralisiert und auf das zu ätzende Material gelenkt. Der Druck in der Ätzkammer liegt dabei unter 10^{-1} Pa; die Teilchenstromdichte kann in weiten Grenzen variiert werden (Stromdichten z. B. zwischen 0,05 und $1,5 \text{ mA/cm}^2$).

Ein wesentlicher Parameter des erfindungsgemäßen Verfahrens ist die Teilchenenergie. Bei kleinen Energien (i. a. 0,5 bis 1,5 keV, abhängig vom zu ätzenden Material und den verwendeten reaktiven Teilchen) überwiegt der reaktive Anteil den Sputteranteil stark, so daß eine hohe Ätzgeschwindigkeit und eine hohe Selektivität in bezug auf Ätzmasken (z. B. organische Foto-, Elektronenstrahl- oder Röntgenresists) oder Trägermaterialien (z. B. Si, GaAs o. ä.) erreicht werden kann. Aufgrund dieser Selektivitätserhöhung und der Tatsache, daß die Abtragsgeschwindigkeit beim reaktiven Ionenstrahlätzen unabhängig vom Ein-

fallswinkel der Teilchen ist, können organische Resists für Ionenstrahlstrukturierungsprozesse auch dann Verwendung finden, wenn es auf hohe Übertragungsgenauigkeit der Strukturen ankommt (Strukturgrößen im μm - und Sub- μm -Bereich). Auf die aufwendige Herstellung von Mehrschichtmasken oder Metall-Zwischenmasken kann verzichtet werden.

Erhöht man die Teilchenenergie, so steigt damit der Anteil des Materialabtrags durch Zerstäubung (Sputtering), so daß - unter Beibehaltung bzw. weiterer Erhöhung der Ätzgeschwindigkeit - die Selektivität geringer wird und der Einfluß der Teilcheneinfallrichtung auf den Ätzprozeß zunimmt. Durch entsprechende Wahl der Teilchenenergie kann bei dem erfindungsgemäßen Verfahren folglich das Verhältnis von Zerstäubungsrate zu chemischer Ätzgeschwindigkeit in weiten Grenzen variiert und damit z. B. die Kantensteilheit der erzeugten Strukturen verändert werden.

Bei konstanter Ionenenergie ist eine Variation des Verhältnisses der Anteile reaktives Ätzen/Zerstäuben auch durch Änderung der Ätzgaszusammensetzung möglich. In diesem Fall bedeutet eine Steigerung der Zerstäubungsgeschwindigkeit (bei konstanter Teilchenstromdichte) jedoch eine Abnahme der Gesamtätzgeschwindigkeit.

Ausführungsbeispiel

1. In eine Siliziumdioxidschicht (Dicke 300 nm), die sich auf einem Siliziumsubstrat befindet, soll eine bestimmte Struktur eingeätzt werden. Zu diesem Zweck wird zunächst eine Schicht aus fotoempfindlichem Lack aufgebracht, belichtet und entwickelt. Das Ätzen erfolgt mit einem Ionenstrahl, der durch Ionisation von CF_3H in einer Ionenquelle entsteht. Die dabei gebildeten Ionen CF_2H^+ , CF^+ und CF_3^+ reagieren selektiv mit dem Siliziumdioxid an den von der Ätzmaske nicht bedeckten Stellen. Die Energie der Ionen liegt im Bereich von 1 keV, die Stromdichte beträgt $0,25 \text{ mA/cm}^2$. Das Ätzen ist nach 3 Minuten beendet.

2. Auf einem Substrat aus GaAsP befindet sich eine Si_3N_4 -Schicht (Dicke 300 nm), in die ein vorgegebenes Muster geätzt werden soll. Die gesamte Schicht wird mit einem elektronenstrahlempfindlichen Lack (Dicke 300 nm) bedeckt und mit einem Elektronenstrahl "belichtet". Nach dem Entwickeln wird das Ätzen mit einem Ionenstrahl durchgeführt, der durch Ionisation von CF_3OF in einer Ionenquelle gewonnen wird, wobei Ionen erzeugt werden, die selektiv mit dem Si_3N_4 reagieren, während der Lack und das Substrat nicht angegriffen werden. Die Energie der Ionen beträgt 1,5 keV, die Stromdichte $0,25 \text{ mA/cm}^2$. Die Behandlung mit dem Ionenstrahl dauert 4 Minuten.

Erfindungsanspruch

1. Verfahren zum reaktiven Ionenstrahlätzen von Silizium und Siliziumverbindungen, dadurch gekennzeichnet, daß das Ätzen mit einem Strahl von Ionen bzw. ihren Neutralisationsprodukten durchgeführt wird, die reaktiv mit dem Silizium bzw. den Siliziumverbindungen reagieren.
2. Verfahren nach Punkt 1, dadurch gekennzeichnet, daß es sich bei den zu ätzenden Materialien um Polysilizium, Siliziumdioxid oder Siliziumnitrid handelt.
3. Verfahren nach Punkt 1, dadurch gekennzeichnet, daß Ionen oder Neutralteilchen verwendet werden, die aus den Gasen CF_3OF , CF_4 , CF_3H , ihren Gemischen oder Gemischen mit Sauerstoff oder Inertgasen entstehen.
4. Verfahren nach Punkt 1 und 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Teilchenenergie so gewählt wird, daß die chemische Ätzrate die Zerstäubungsrate (Sputterrate) wesentlich übersteigt.
5. Verfahren nach Punkt 1 und 3, dadurch gekennzeichnet, daß zur Beeinflussung der Kantensteilheit der erzeugten Strukturen die Teilchenenergie oder die Gaszusammensetzung so gewählt wird, daß außer dem reaktiven Ionenstrahlätzen noch ein Zerstäubungsanteil (Sputteranteil) auftritt.

THIS PAGE BLANK (USPTO)